

**COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO
DEL RÍO LA PLAYA, COMO POSIBLE
FUENTE DE SUMINISTRO A LA
CIUDAD DE BOGOTÁ**

**“HYDROLOGICAL BEHAVIOR OF
THE LA PLAYA RIVER, AS A
POSSIBLE SOURCE OF SUPPLY TO
THE CITY OF BOGOTÁ”**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

JUAN PABLO CELIS VANEGAS

D. /D^a NOMBRE Y APELLIDOS

Dirigido por:

IRENE DE BUSTAMANTE

Dr. /Dra. D. /D^a NOMBRE Y APELLIDOS

Alcalá de Henares, a 3 de Junio de 2019

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente a Dios, por permitirme la oportunidad de culminar mis estudios, como agradecimiento especial a mis tías Beatriz Arias y Dolores Fernández quienes me acompañaron durante este proceso de crecimiento profesional, el cual, se debe gracias al cuerpo de docentes que compartieron sus conocimientos con cada uno de nosotros.

También, resaltar que cada meta alcanzada es por el apoyo de mi padre pero especialmente mi madre Esther Vanegas, no solo por lo económico sino lo más importante, lo moral y quien me enseñó que los sueños si se pueden alcanzar.

ÍNDICE

RESÚMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	3
3. METODOLOGÍA	5
3.1 Evaluación de consumos por habitantes/día para una demanda de nueve millones de habitantes permitidos por el estado Colombiano	5
3.2 Dotaciones permitidas para diversos usos en diferentes sectores donde se efectúa la prestación del servicio permitido por el RAS	6
3.3 Decreto - ley por el cual, se debe aplicar la solicitud de los servicios de aguas públicas y/o privadas.....	7
3.4 Revisión de habitantes y dotación por zona	7
3.5 Pérdidas en el sistema	8
3.6 Caudales promedios, escorrentía superficial territorial	9
4. RESULTADOS.....	10
4.1 Análisis de volumen de agua actual.....	10
4.1.1 Base de datos del Acueducto de sistemas de PTAP y Embalses.....	10
4.2 Medidas comparativas de los consumos poblacionales	15
4.3 Caudales necesarios para el suministro del acueducto	16
4.4 Cubrimiento poblacional con las pérdidas en la red	17
4.5 Cubrimiento poblacional con el manejo de los 16,98 m ³ /s.....	17
4.6 Comportamiento Hidrológico en Río La Playa ubicado en la cuenca del Orinoco (figura 1).....	18

5.	DISCUSIÓN	21
5.1	Caudales utilizados y diferenciados sin reportes	21
5.2	Cubrimiento poblacional con el manejo de los 23.7 m ³ /s	21
6.	CONCLUSIONES	23
7.	BIBLIOGRAFÍA	24

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Cuerpos de agua del Parque Nacional Natural Chingaza (fuente: Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2019)	3
Figura 2 Ubicación de embalses y PTAP (fuente: EAAB - ESP, 2015).....	10
Figura 3 Sistemas de embalses (fuente: EAAB - ESP, 2015)	14
Figura 4 comportamiento del sistema de abastecimiento teniendo en cuenta las salidas de las PTAP, con el caudal reportado de los 16,89 m ³ /s	17
Figura 5. Comportamiento Hidrológico	20
Fig. 6 Comportamiento del sistema de abastecimiento teniendo en cuenta las salidas de las PTAP, con el caudal NO reportado de los 23,7 m ³ /s.	22

CONTENIDO DE TABLAS:

Tabla 1 Dotación permitida.5

Tabla 2 Consumos Industrias6

Tabla 3 Población total abastecida.....7

Tabla 4 Captaciones del sur de Bogotá.....11

Tabla 5 Captaciones del norte de Bogotá.....13

Tabla 6 Captaciones en el PNN Chingaza al este de Bogotá14

Tabla 7 Caudales río La Playa18

ABREVIATURA

CCCF: Caudal Confiable Continuo en la Fuente

SCC: Suministro Confiable Continuo

SCCC: Suministro Confiable Continuo limitado por concesiones

PNN: Parque Nacional Natural

PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable

RAS: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico

RESÚMEN

El siguiente trabajo es un estudio hidrológico realizado bajo la necesidad de conocer el tiempo de llenado de un reservorio a construir, se han analizado las precipitaciones y los caudales (Q) medios de la cuenca, determinando que éstos son suficientes para que la zona se considere óptima para el desarrollo de la infraestructura. En busca de proponer alternativas que generen menor cantidad de impactos a la flora y la fauna que se encarga de proteger el Parque Nacional Natural Chingaza, se proponen otras alternativas no estimadas por la empresa acueducto de Bogotá, que es la encargada de realizar la obra de abastecimiento.

Hay que resaltar la importancia de la protección del Parque Nacional Natural Chingaza, ya que representa un ecosistema de bosques altos andinos, con la existencia de fauna y flora en vías de extinción; como el oso de anteojos y los frailejones ambas con alto grado de sensibilidad.

Dentro de los resultados obtenidos en éste trabajo, se demuestra que las pérdidas por fugas en el sistema de distribución son elevadas, lo que lleva a buscar un aumento de las captaciones superiores a las concesiones otorgadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para suplir la demanda diaria de dotación de agua.

SUMMARY

The following work is a hydrological study carried out under the need to know the time of filling a reservoir to be built, the precipitations and the average flow rates (Q) of the basin have been analyzed, determining that these are sufficient for the area to be considered optimal for the development of the infrastructure. In order to propose alternatives that generate fewer impacts to the flora and fauna that is responsible for protecting the Chingaza National Natural Park, other alternatives are proposed, not estimated by the Bogotá aqueduct company, which is in charge of carrying out the work of catering.

The importance of the protection of the Chingaza National Natural Park must be highlighted, since it represents an ecosystem of high Andean forests, with the existence of fauna and flora in danger of extinction; like the spectacled bear and the frailejones both with a high degree of sensitivity.

Within the results obtained in this work, it is shown that losses due to leaks in the distribution system are high, which leads to an increase in captures higher than the concessions granted by the Ministry of Environment and Sustainable Development, to supply the daily demand for water supply.

1. INTRODUCCIÓN

“¡Agua! Descripción de recurso indispensable para sustento de todo lo que se denomina vida”.

El Parque Nacional Natural Chingaza, se encuentra ubicado en el territorio Nacional de Colombia (figura1), sobre la cordillera nororiental de los andes al noreste de Bogotá; conformado por 11 municipios; 7 de Cundinamarca y 4 del Meta. Su extensión de 76.600 hectáreas, con altitudes de que oscilan entre los 800 y los 4.200 m.s.n.m, y temperaturas promedio de 4°C – 21.5°C. Sus ecosistemas predominantes, bosques alto andinos, subandinos y páramos, representan un refugio de relictos majestuosos de fauna y flora. (Parques Nacionales Naturales de Colombia)

Este parque es uno de los más importantes y representativos para los habitantes de la zona.

En la ciudad de Bogotá, bombean 23,7 metros cúbicos de agua por segundo, que provienen de los embalses: Chuza y San Rafael del sistema Chingaza; Aposentos, Neusa, Sisga, y Tominé del sistema norte; La regadera y Chisacá del sistema Sur, y cuentan con seis plantas de tratamiento para todos los sistemas, “los cuales satisfacen a cerca de 10 millones de personas en Bogotá y 11 municipios aledaños. Aunque los recursos son limitados, los planes de expansión garantizarían el servicio hasta 2032”. (Mónica, 2018).

La necesidad de construir un segundo embalse denominado Chingaza 2, se debe al aumento de una población en rápido crecimiento y a satisfacer las demandas de los planes de contingencia.

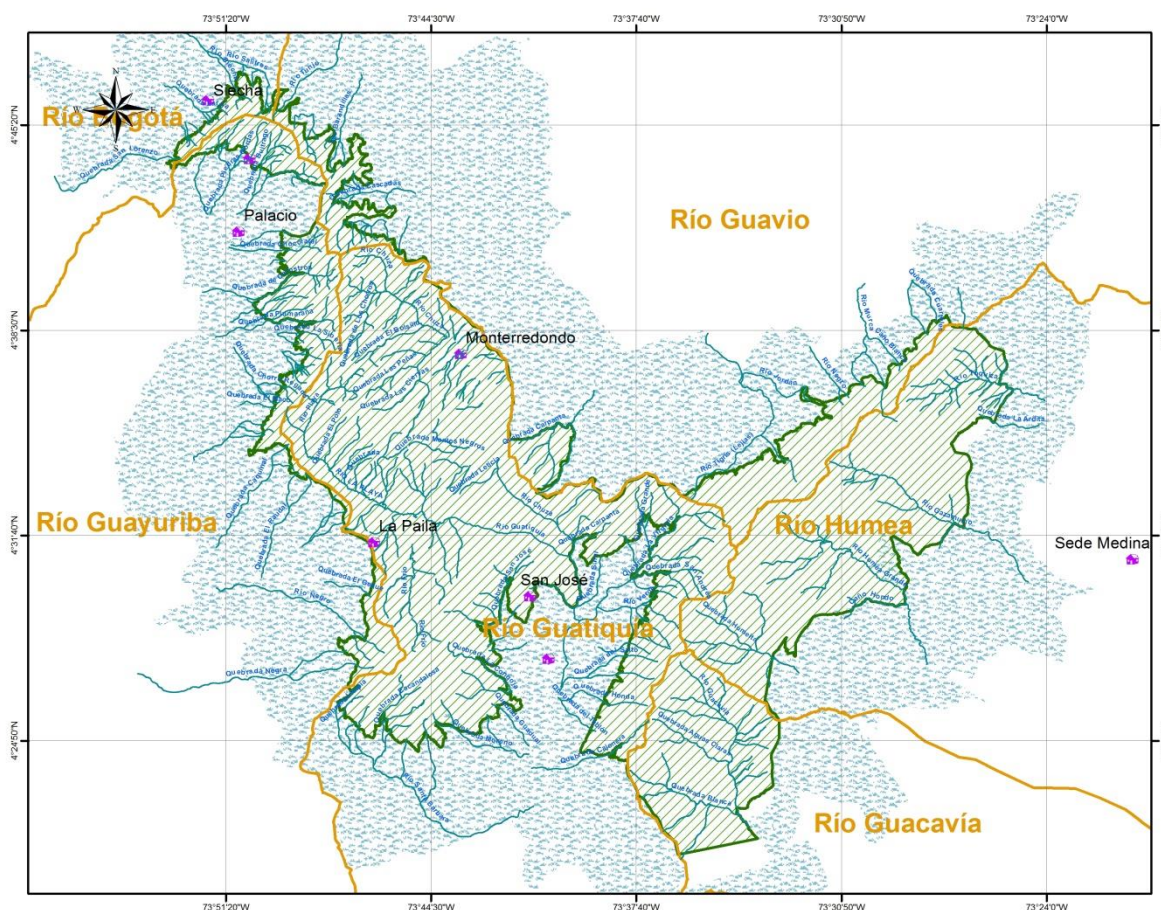
Para la construcción de éste proyecto es necesario conocer las cantidades de hectáreas que serán inundadas y la elevación que debe tener el muro de la presa para la contención de la masa de agua estipulada en caso de que la obra se efectúe.

En Colombia, la demanda sectorial nacional o población de regional cada año, utiliza aproximadamente entre el 5 por ciento (%) y el 6% de la oferta hídrica natural superficial. Sin embargo, en algunas áreas la demanda no logra cubrirse debido a la pérdida de la regulación hídrica natural, lo que ha transformado los flujos permanentes de agua en intermitentes. (fondo acción, 2017)

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

“El embalse de Chuza, situado dentro del Parque de Chingaza en la cuenca del río Chuza tributario del Río Guatiquía, es el centro del Sistema Chingaza (figura 1), es de donde capta el agua la Empresa de Acueducto de Bogotá. El sistema Chingaza aporta un 80% de agua potable de alta calidad a los bogotanos”. (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2019), y también a once municipios ubicados entre los departamentos de Cundinamarca y el Meta. El embalse construido se sitúa al este de la capital, cimentado con una- “altura promedio de 127 metros, represando un volumen (V) útil aproximado de 225 hectómetros cúbicos Hm^3 ”. (EAAB - ESP, 2015). Cabe resaltar que también se obtienen otras captaciones de embalses de los sistemas zona norte, sistema zona sur y sistema Chingaza, utilizando alrededor de seis plantas de tratamiento para cubrir las demandas actuales de los ciudadanos.

Figura 1 Cuerpos de agua del Parque Nacional Natural Chingaza (fuente: Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2019)



Dentro del proyecto planteado por el acueducto de Bogotá, para el 2032 que conformaría el embalse de Chingaza 2, estipulan que tendrá,- “una capacidad de almacenamiento de 135 Hm^3 , con una altura de 90 metros”. (EAAB - ESP, 2015)

El Objetivo Principal éste trabajo es

Analizar hidrológicamente el comportamiento del Río La Playa, ante la construcción del embalse Chingaza fase II para el abastecimiento a la ciudad de Bogotá.

Como objetivos secundarios quedaría:

- Analizar estadísticamente los caudales y determinar el tiempo de llenado del embalse, demostrando datos de apoyo que sirvan al grupo del Parque Nacional Natural (PNN) Chingaza.
- Hacer un análisis comparativo con los datos informados por el acueducto en su presentación, con los resultados obtenidos en el estudio.
- Plantear posibles alternativas que podrían efectuarse para evitar la construcción de un embalse teniendo en cuenta la afección al PNN Chingaza
- Analizar estadísticamente los caudales y determinar cuánto puede tardar el embalse para efectuar su llenado total, demostrando datos de apoyo reales que sirvan al grupo del PNN Chingaza para la evaluación ante la inundación posible.

3. METODOLOGÍA

A continuación, se expone las sucesivas pautas metodológicas que se han seguido para la elaboración de éste trabajo.

3.1 Evaluación de consumos por habitantes/día para una demanda de nueve millones de habitantes permitidos por el estado Colombiano

El consumo se ha realizado siguiendo con las directrices del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014), donde se reflejan los consumos máximos y mínimos en referencia a las condiciones climatológicas, ya sean temperaturas cálidas o templadas (Tabla1).

Sin importar las condiciones sociales, la estructura tarifaria se encarga que los cobros de la prestación del servicio varíen según el estrato socioeconómico de cada habitante, yendo éstos desde: estrato 1 hasta estrato 6 para la parte residencial y valores diferentes para los sectores de lo comercial, industrial, oficial y especial. El servicio debe prestarse con las mismas garantías y calidades estipuladas por el Ministerio de Salud, sin importar el estrato en el que esté considerado. Es de suma importancia resaltar o hacer énfasis, que debido a las condiciones climatológicas serán más elevados los consumos en las zonas cálidas que en las templadas. En aquellas que no superen los 800 m.s.n.m, las cantidades permitidas de litros/habitantes/día, deben ser como mínimo a 100 L/hab/día y máximo de 150 L/hab/día, y para aquellas que superen dicha altura, una mínima de 90 y una máxima de 140 L/hab/día (Tabla 1).

Cada una de las estaciones de tratamiento que se encargue de distribuir el recurso, debe contar con un medidor de distribución calibrado para dar cumplimiento a los reportes diarios de agua tratada en cada una de las seis plantas que se encargan en la actualidad de prestar el servicio a cada uno de los hogares de la capital y los once municipios.

El incremento tarifario, está basado en:

Un cargo fijo y un consumo básico. A esto se suma el consumo no básico, que varía de acuerdo con el consumo. Este sistema tarifario está segmentado según las necesidades de los usuarios y al inmueble donde el servicio es suministrado, bien sea de tipo residencial, comercial o industrial. (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, 2019)

Tabla 1 Dotación permitida.

Dotación por Habitante Según el Nivel de Complejidad del Sistema (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014)

<u>Nivel de complejidad del sistema</u>	<u>Dotación neta (L/hab•día)</u> <u>climas templado y frío</u>	<u>Dotación neta (L/hab•día)</u> <u>clima cálido</u>
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	140	150

Nota. Los datos están suministrados en litros/habitante/día

3.2 Dotaciones permitidas para diversos usos en diferentes sectores donde se efectúa la prestación del servicio permitido por el RAS

Cada una de las dotaciones establecidas para el uso industrial, están determinadas en el RAS, éstas se otorgan según el uso para cada caso en específico. Dentro de los consumos permitidos en el sector industrial, comercial, institucional, como en todas las otras fuentes y entidades públicas o privadas que lo requieran, deben cumplir con los permisos de usos del agua establecidos por la Autoridad Ambiental competente, quien es la encargada en revisar y aprobar el estudio de factibilidad.

Los sectores industriales mencionados en la (Tabla 2), son los que generan mayores consumos de agua, y son cubiertos por el acueducto de Bogotá ascendiendo a 20.04 m³/seg, y son otorgados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Los sistemas de embalses están regidos únicamente para el suministro de agua para consumo potable y no está permitido ningún otro uso

Tabla 2 Consumos Industrias

Consumos para Producción de Algunos Tipos de Industria. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014)

<u>Industria</u>	<u>Rango de Consumo (m3/día)</u>
Azucarera	4,5 – 6,5
Química (a)	5,0 – 25,0
Papel y celulosa (b)	40,0 – 70,0
Bebidas (c)	6,0 – 17,0
Textil	62,0 – 97,0
Siderúrgica	5,0 – 9,0
Alimentos (d)	4,5 – 5,0

Nota: a) Variables de acuerdo con el producto.

- b) Se indican sólo los índices de celulosa.
- c) Se tomó como representativa la cerveza.
- d) Se tomó como representativa la industria de alimentos lácteos.

3.3 Decreto - ley por el cual, se debe aplicar la solicitud de los servicios de aguas públicas y/o privadas.

Todos los documentos deben aprobarse mediante el Decreto-ley 2811 de 1974, este Decreto “*tiene por finalidad reglamentar las normas relacionadas con el recurso de aguas en sus estados*”. (Secretaria General de la Alcaldía Mayor de Bogotá , 2015), citando dentro de las características en la sección 5, de los modos de adquirir el derecho al uso de las aguas y sus cauces en.

“Artículo 2.2.3.2.5.1. Sobre *Disposiciones Generales* se apunta que el derecho al uso de las aguas y de los cauces se adquiere de conformidad con el artículo 51 del Decreto-ley 2811 de 1974 por

- a) Por ministerio de la ley;
- b) Por concesión;
- c) Por permiso, y
- d) Por asociación. (Secretaria General de la Alcaldía Mayor de Bogotá , 2015)

3.4 Revisión de habitantes y dotación por zona

Una vez analizada la demanda fija de consumo de los nueve millones de habitantes divididos entre la capital y los municipios, se deben relacionar los consumos excedentes, en este caso los que reporta el acueducto a su favor, como aquellos que por desconocidas circunstancias no reportan.

Tabla 3 Población total abastecida

Población de Bogotá y los Once Municipios Abastecidos por el acueducto de Bogotá.

(DANE, 2011) y (Population.City, 2019)

<u>Municipio</u>	<u>Población en 2019</u>	<u>Dotación neta</u> <u>(L/hab•día)</u>	<u>Dotación total (L/día)</u>
Bogotá	8.264.029	125	1.033.003.625
Fomeque	12.248	125	1.531.000
La Calera	28.941	125	3.617.625
Choachí	10.500	125	1.312.500

Guasca	15.749	125	1.968.625
Junín	8.610	125	1.076.250
Gachetá	11.388	125	1.423.500
Medina	10162	135	1.524.300
San Juanito	2191	135	295.785
El Calvario	795	135	107.325
Restrepo	7619	135	1.028.565
Cumaral	12720	135	1.717.200
Total	8.384.952		1.048.606.300

Nota.

- Los datos aquí presentados son aproximaciones, debido a que, el último censo fue efectuado en el año 2005, siendo actualizada con información disponible a la fecha de 2011 por el DANE y por Populatyon.City quienes actualizan la base de datos continuamente basados en datos de Organización no Gubernamental (ONG).
- Obtención de una media para un caudal de 129 (L/hab•día)

Una vez obtenidos los datos puntuales de la población total de los municipios beneficiados por el sistema de acueducto y alcantarillado de Bogotá, se deben implementar medidas correctivas y efectuar un análisis acorde a los suministros actuales ilustrados por la empresa prestadora del servicio siendo una captación de 20.4m³/seg por concesión y los otros obtenidos por la revista del Espectador, donde se expone la demanda actual de consumo de 23,7 m³/seg.

3.5 Pérdidas en el sistema

Las conducciones en el sistema de abastecimiento suelen estar en continuos mejoramientos, todas las redes deben contar con un sistema de tuberías, capacitado para soportar las presiones y así minimizar fugas posibles pertinentes, y sobre todo que no generen ningún tipo de contaminación ni alteración en los parámetros físico – químicos que deben tener el agua durante la distribución en la red hasta llegar al destino final, el consumidor. Con esta descripción no se pretende decir que no se sufran contingencias, pero para poder dar solución al problema o evitar mayor cantidad de fugas, no se debe esperar a que la tubería complete su vida útil, lo recomendable es que se utilice durante un periodo mayor al 80%.

Una de las maneras de las que podríamos obtener información relacionada a las pérdidas en la red son los medidores, tanto los de la empresa prestadora del servicio en las salidas de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) al momento de distribución, como también en los medidores de los usuarios, pues al tener un control mensual de lo facturado tendríamos que las salidas en el sistema de agua potabilizada deben ser iguales a las entradas del volumen consumido por los habitantes. “El indicador normalmente utilizado para revisar el nivel de pérdidas es el índice de agua no contabilizada. (Colombia, Ministerio de Vivinda, ciudad y territorio, 2014)

3.6 Caudales promedios, escorrentía superficial territorial

Del volumen de precipitación anual, un 61% se convierte en escorrentía superficial, generando un caudal medio de $66.440 \text{ m}^3 / \text{seg}$, equivalente a un volumen anual de 2.113 km^3 que fluye por las cinco vertientes hidrográficas así: el 23% vertiente del Caribe; el 10% vertiente del Pacífico; el 34% vertiente de la Amazonía; el 32% vertiente de la Orinoquía; el 1% vertiente del Catatumbo. (Uribe, 2000)

Las mediciones de los caudales diarios en el Río La Playa, ubicado en una de las vertientes del Orinoco, se efectúan mediante el seguimiento de las precipitaciones diarias, pero los informes se aprecian con unos reportes intermitentes, todo generado por la falta de personal, pero más aún debido por las condiciones de acceso abrupto. De los datos analizados, se estima que la precipitación media se sitúa en torno a los 1.738 m, m/año .

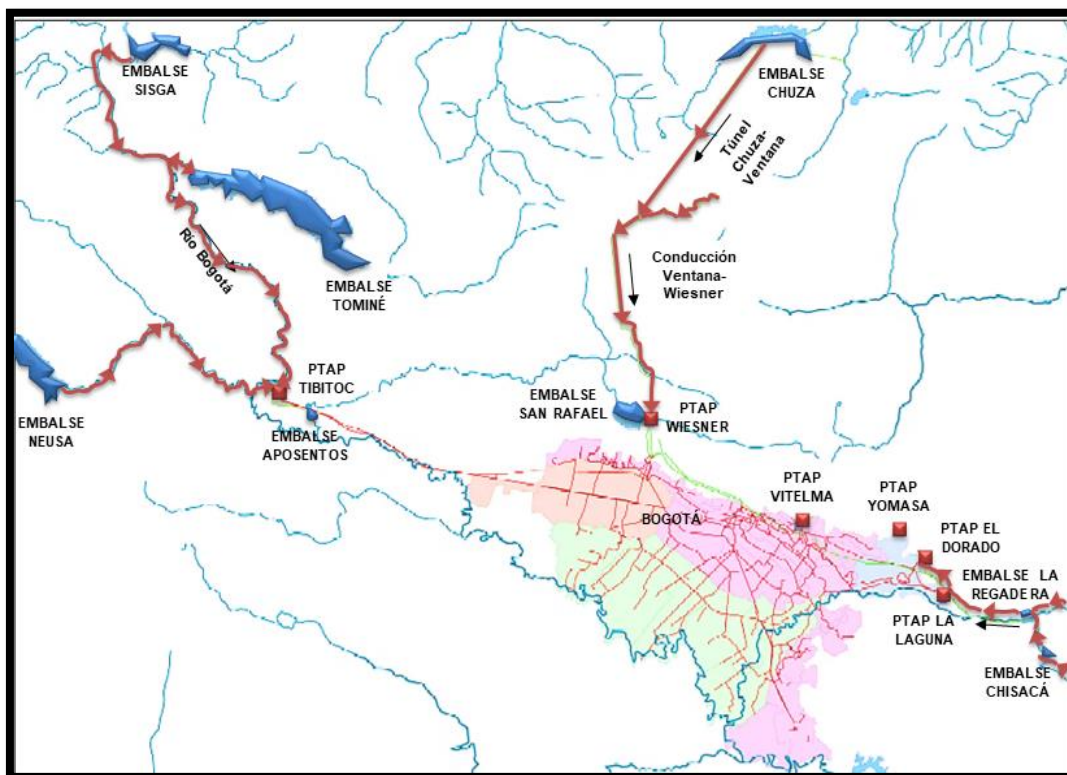
4. RESULTADOS

4.1 Análisis de volumen de agua actual

4.1.1 Base de datos del Acueducto de sistemas de PTAP y Embalses

Para este análisis se consideran las cantidades de agua que se suministran en el sistema de acueducto de Bogotá y los once municipios aledaños, teniendo en cuenta los datos obtenidos por concesiones otorgadas para el suministro y abastecimiento de la red.

Figura 2 Ubicación de embalses y PTAP (fuente: EAAB - ESP, 2015)



Dentro de la base de proyectos presentados por el acueducto de Bogotá, el sistema de ampliación para cubrir la demanda se efectuaría, con la creación de un segundo embalse denominado Chingaza II, que represaría el río denominado como La Playa, cauce que transita dentro del PNN Chingaza. Estimando la cantidad de caudal que se utilizaría para mejorar la demanda al año 2032, alcanzando un promedio de $0,68\text{m}^3/\text{s}$.

Tomando los datos de captaciones tendríamos que: los sistemas de abastecimiento son tres, ubicados de la siguiente manera:

- **Captación sur** (figura 3); éste sistema de abastecimiento capta las aguas de consumo en dos embalses denominados como La Regadera y Chisacá, cuentan con tres PTAP, para potabilizar el agua que se extrae para el consumo.

Ingresando a las descripciones que competen al funcionamiento del sistema Sur, se obtienen los datos relacionados a las capacidades de tratamiento y volumen embalsado. Su conformación está dada por un caudal continuo confiable en la fuente (CCCF), suministros confiables continuo (SCC) y Suministro confiable continuo limitado por concesiones SCCC, todo ello basado en los volúmenes de los embalses denominados como La Regadera y Chisacá, de donde se lleva registro por norma de los caudales de salida para cada planta que componen éste sistema.

Entre 1934 y 1938, se construyó el embalse de la "La Regadera", en la confluencia de los ríos Curubita y Chisacá, en la cuenca alta del río Tunjuelo. Se trata de una “presa de tierra de 31 m de altura, la cual forma un embalse de 4 millones de metros cúbicos, con un rebosadero del tipo Morning Glory”- (EAAB, 2015). El agua de este embalse se direcciona hacia la planta de tratamiento Vitelma. (Cuéllar Jiménez).

Tabla 4 Captaciones del sur de Bogotá

Sistema de Abastecimiento del Sur (EAAB - ESP, 2015). (ORARBO, 2019)

<u>Descripción</u>	<u>Cantidades</u>
CCCF	1,15 m ³ /s
SCC	0,72 m ³ /s
SCCC	0,56 m ³ /s
Embalse La Regadera	3,7 hm ³
Embalse Chisacá	6,7 hm ³
PTAP Vitelma	13,5 m ³ /s
PTAP Yomasa	s.d
PTAP El Dorado	1,6 m ³ /s
PTAP La Laguna	0,5 m ³ /s

Nota. CCCF: es el caudal disponible de la fuente utilizada por cada planta, con una probabilidad anual de déficit del 1%, es decir una confiabilidad anual del 99%.

SCC: Es el suministro de agua potable que la planta puede garantizar en forma continua, con base en el caudal confiable continuo de agua cruda disponible, limitado por la capacidad de la planta.

SCCC: SCC limitado por Concesiones.

- **Sistema Captación Norte** (figura 3), dando continuación a las demandas de consumo el sistema de captación del norte está constituido por una serie de

embalses que se encarga de suministrar esta zona y municipios aledaños, dichos embalses son:

- **Embalse de Sisga:** construido con dos propósitos, evitar las inundaciones y una vez embalsada utilizarla en tiempo de verano como un recurso alternativo para el suministro del acueducto efectuando el tránsito del recurso por el Río Bogotá. “La estructura de la represa tiene una altura de 52 m medidos desde la base hasta la corona la cual se encuentra a 2674.5 m.s.n.m., construida en concreto en su totalidad. Cuenta con un túnel de salida de 346 m de longitud con una sección transversal en forma de herradura de 8,5 m² el cual opera como descarga de fondo con una válvula Howell Burguer de 42 pulgadas de diámetro, y con una capacidad máxima de 15 m³/s. El vertedero es un canal abierto revestido en concreto de 650 m de longitud, localizado en la margen derecha con una capacidad de 160 m³/s con el cual se obtiene un nivel del agua de 2672.45 m.s.n.m”. (ORGANIZACIÓN COLPARQUES, 2018), con capacidad de almacenamiento de 101 hm³.
- **Embalse de Tominé:** siendo este uno de los de mayor capacidad de almacenamiento de los embalses que componen la red de abastecimiento, con un llenado de 658 hm³, suministra junto con el Sisga y Neusa una cantidad promedio de 6 m³/s a la PTAP de TIBITOC, encargada de efectuar el proceso de distribución para la zona Norte o como también conocida, la sabana de Bogotá.
- **Embalse de Neusa:** En este embalse, aunque fue construido con otra funcionalidad, se ha convertido en una reserva para suministros de agua. Como proyecto para generar energía fue su principal función, pero debido a la demanda del consumo y las condiciones físicas – químicas cumplen con los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud.
- La construcción del embalse es de sedimentos sueltos compactados, consta de 46 metros de altura, con una amplitud en coronación y -“con capacidad de 16 m³/s, cuenta con sistemas de operación mecánica eléctrica, una de mariposa y otra de chorro”- (Wendi, 2016). Cuenta con una capacidad total de retención en el embalse es de 101hm³

- **Embalse aposentos:** Este embalse contiene una capacidad para almacenamiento de $0,8 \text{ hm}^3$ en condiciones aceptables para el correspondiente tratamiento efectuado por la planta de TIBITOC.

Tabla 5 Captaciones del norte de Bogotá

Sistema de Abastecimiento del Norte (EAAB - ESP, 2015) - (ORARBO, 2019)

<u>Descripción</u>	<u>Cantidad</u>
CCCF	$10,53 \text{ m}^3/\text{s}$
SCC	$4,50 \text{ m}^3/\text{s}$
SCCC	$4,50 \text{ m}^3/\text{s}$
Embalse Sisga	101 hm^3
Embalse Tominé	658 hm^3
Embalse Neusa	101 hm^3
Embalse Aposentos	$0,8 \text{ hm}^3$
PTAP Tibitoc	$10,5 \text{ m}^3/\text{s}$
<i>Nota.</i> Cantidades y Capacidades de embalses y correspondientes PTAP	

- **Sistema de captación del Este,** el sistema de captación al este de la capital es el de mayor grado de importancia y protección, debido a las aportaciones diarias que genera al acueducto, aunque cuenta con un embalse de menor capacidad que el de Tominé, suministra alrededor del 80% de agua potable para la capital y otros municipios donde llegan las redes de distribución, es decir, que solamente para lo que es Bogotá, que a 2019 cuenta con una población aproximada de ocho millones doscientos sesenta y cuatro mil veintinueve habitantes, está generando beneficios del agua potable de aproximadamente seis millones seiscientos once mil doscientos veintitrés habitantes. Las captaciones se efectúan de dos embalses y un subsistema de río blanco, estos ubicados dentro de las zonas protegidas por PNN, que son:
 - **Embalse de Chuza:** Conocido por sus grandes aportaciones para el suministro, ubicado dentro del Parque Nacional Natural Chingaza, retiene caudales utilizados de la cuenca del Orinoco.
 - La presa que hoy en día se denomina como “Golillas” es la encargada que en el embalse de Chuza se pudiera obtener la cantidad de 233 hm^3 de agua

de dos ríos: Chuza y Guatiquía, como también obteniendo recurso de fuentes menores denominadas como Golillas y Leticia.

- Las conducciones de éstos embalses inicialmente se efectuaban por el un canal llamado Simayá, el cual, “forma parte del sistema de conducción de agua de más de 37 kilómetros de longitud que iba del Embalse de Chuza a la Planta de Tratamiento Francisco Wiesner”- (Gallini, 2014), donde actualmente se conduce por un túnel de ventana.
- **Embalse San Rafael:** Encontrado aguas abajo en el municipio de la Calera, con capacidad de almacenamiento de hasta de 70 hm³.

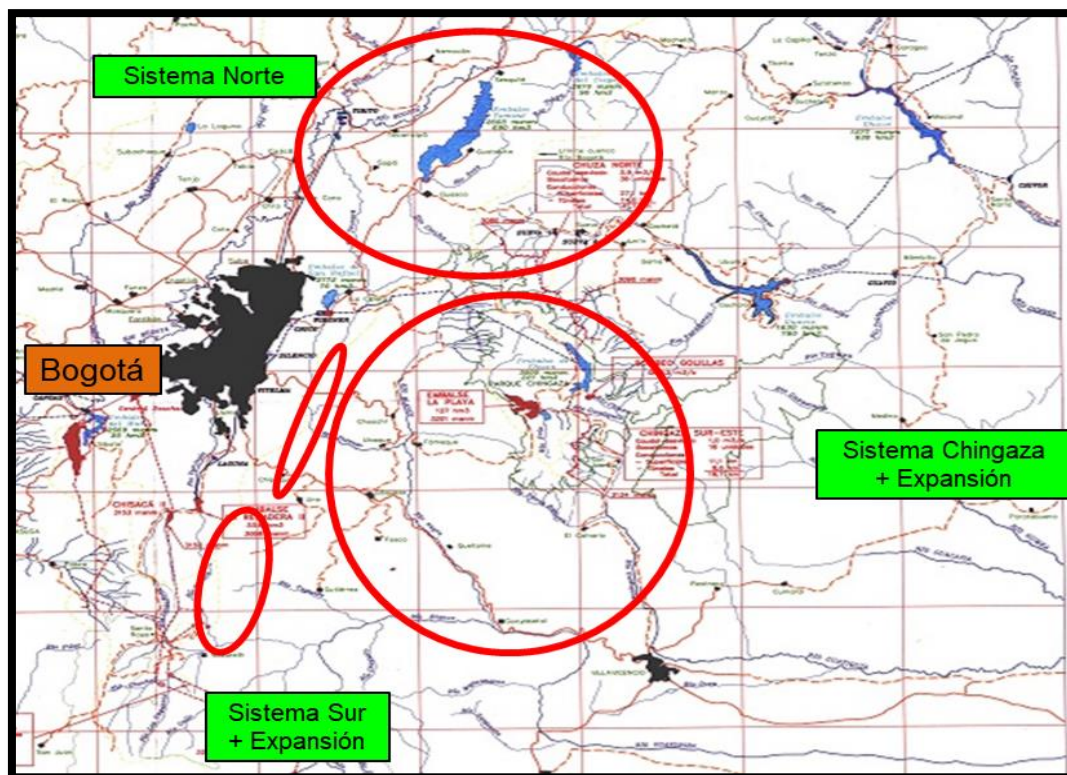
Tabla 6 Captaciones en el PNN Chingaza al este de Bogotá

Sistema de Abastecimiento del Norte (EAAB - ESP, 2015) - (ORARBO, 2019)

<u>Descripción</u>	<u>Cantidad</u>
CCCF	14,32 m ³ /s
SCC	12,0 m ³ /s
SCCC	12,0 m ³ /s
Embalse San Rafael	70 hm ³
Embalse Chuza	243 hm ³
Embalse Neusa	101hm ³
PTAP Wiesner	13,5 m ³ /s
Longitud del Túnel	28,507 m

Nota. Las cantidades de caudales y datos proporcionados en éste proyecto de abastecimiento de la zona Este, demuestra que se convierte en el sistema que más aportaciones efectúa a la red de distribución.

Figura 3 Sistemas de embalses (fuente: EAAB - ESP, 2015)



4.2 Medidas comparativas de los consumos poblacionales

En las características de los análisis se debe tener muy en cuenta que la dotación bruta, de acuerdo con la resolución 2320 de 2009 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial hoy día (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible); “es la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto”- (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014)

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

Dónde:

d_{bruta} : Dotación bruta

d_{neta} : Dotación Neta

%p: Pérdidas máximas admisibles

“La revisión de la resolución 2320 de 2009 cita que el porcentaje de pérdidas no debe ser mayor al 25%”- (Resolución 2320 de 2009 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009).}

Teniendo en cuenta que número de habitantes abastecido es de 8.384.952 (Tabla 3), el suministro total diario es de 1.048.606.300 litros, por lo que la dotación bruta será 786.454,8 m³/día

4.3 Caudales necesarios para el suministro del acueducto

En los reportes del acueducto la cantidad o el caudal de $16,89\text{m}^3/\text{s}$, corresponden a la demanda actual captada para el tratamiento y con esta cantidad suplen las necesidades en el sistema de la red de distribución en las poblaciones.

El procedimiento utilizado para determinar lo que demanda la población tomando la media de Bogotá y los once municipios que son abastecidos, es el siguiente:

Media de población = $129\text{ L/hab}\cdot\text{día}$

Total población: $8.384.952\text{ hab.}$

$$V_{\text{consumido}} = \frac{129\text{l}}{\text{hab}\cdot\text{día}} * 8.384.952\text{ hab} = 1.081.658.808\text{ l/día}$$

Total consumido en m^3 :

$$V_{\text{consumido en m}^3} = 1.081.658.808\text{l}\cdot\text{día} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{l}} = 1.081.659\text{ m}^3/\text{día}$$

Consumo volumen por horas (h):

$$V_{\text{consumido en h}} = 1.081.659\text{m}^3/\text{día} * \frac{1\text{día}}{24\text{h}} = 45.069,125\text{ m}^3/\text{h}$$

Consumo volumen total por la población en m^3/s :

$$V_{\text{total para la demanda poblacional}} = \frac{45.069,125\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 12,52\text{ m}^3/\text{s}$$

Para determinar las pérdidas y los consumos alternos al doméstico se procede a sacar las diferencias de las salidas de la PTAP con los consumos de los habitantes.

$V_{\text{de pérdida}} = \text{caudal de salida en la PTAP} - \text{consumo poblacional}$

$$V_{\text{de pérdida}} = \frac{16,89\text{m}^3}{\text{s}} - \frac{12,52\text{m}^3}{\text{s}} = 4,37\text{m}^3/\text{s}$$

Cabe resaltar que el sistemas de acueducto lleva prestando el servicio por más de 130 años desde su puesta en marcha y su última construcción de un embalse fue de antes de los años 90, teniendo estas redes aproximadamente 28 años desde la construcción de la presa. Por ende y por la normativa 2320 de 2009, el porcentaje por el cual se debe sacar los valores de pérdidas son del 25%, pero debido a la antigüedad de éstas, las pérdidas son un poco más aproximándose al 26%, dato que no es posible comprobar sin la revisión de facturas actuales. Dada la aproximación del porcentaje de pérdidas decimos que:

$$\%_{\text{consumo poblacional}} = \frac{12,52\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{100\%}{16,89\text{m}^3} = \frac{73,74\%}{\text{s}}$$

$$\%_{\text{pérdida en lal red}} = \frac{4,37\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{100\%}{16,89\text{m}^3} = \frac{25,87\%}{\text{s}}$$

En la figura 4 se pueden observar los consumos promedios y las pérdidas en porcentajes suministrados a la ciudad de Bogotá y los once municipios que abastecen.

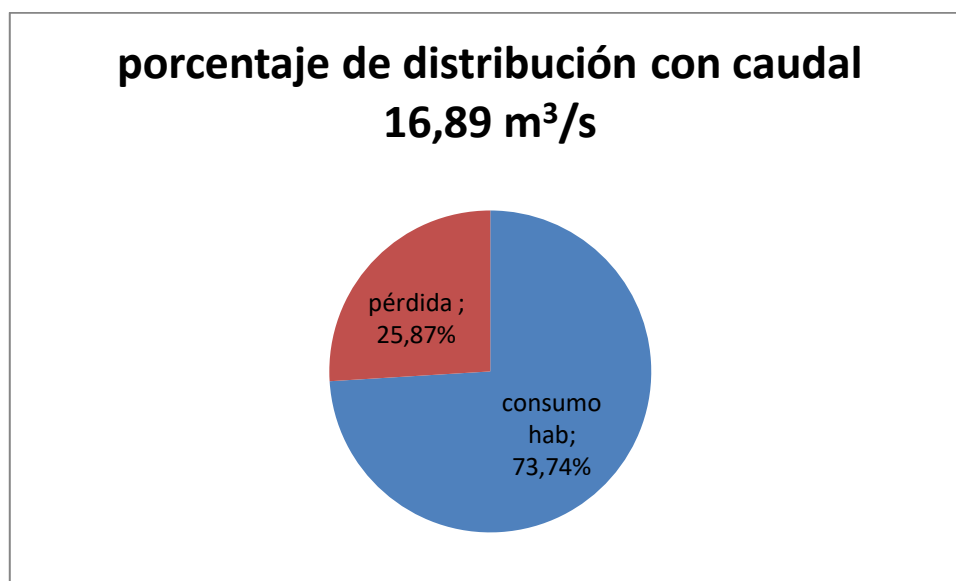


Figura 4 comportamiento del sistema de abastecimiento teniendo en cuenta las salidas de las PTAP, con el caudal reportado de los 16,89 m³/s

Los porcentajes de pérdidas expresada en la figura 4 y figura 6, son obtenidas debido a que la cantidad consumida no es igual a la cantidad de salida en las PTAP, donde en la figura 6 se representa las diferencias por las cifras no reportadas.

4.4 Cubrimiento poblacional con las pérdidas en la red

El crecimiento demográfico es algo que no se puede frenar y el recurso hídrico cada vez se va haciendo más escaso, he ahí la necesidad de tener diversas alternativas para dar solución a posible caos a los que podrían enfrentarse la sociedad.

Todas las aguas deben ser conducidas con responsabilidad y dentro de la descripción y visión de dar una oportuna solución, entre las que se destacan el mantenimiento preventivo y locativo de las fugas, las cuales si se les diera control por imposible que sea, se obtendrían los siguientes resultados:

4.5 Cubrimiento poblacional con el manejo de los 16,98 m³/s

Utilizando los valores habituales presentados por el acueducto de Bogotá, podríamos deducir que las pérdidas son pequeñas. Una vez se expresen las cantidades de pérdidas en litros y las cantidades de personas que podrían hacer uso de este bien se efectuarían procesos sancionatorios. Los resultados que se obtendrían para beneficio serían:

$$V \text{ pérdidas en } \frac{l}{s} = \frac{4,37m^3}{s} * \frac{1000l}{1m^3} = 4.370l/s$$

$$V \text{ pérdidas } \frac{l}{h} = \frac{4.370l}{s} * \frac{3600s}{1h} = 15.732.000l/h$$

$$V \text{ pérdidas } \frac{l}{\text{día}} = 15.732.000 \frac{l}{h} * \frac{24h}{1\text{día}} = 377.568.000l/\text{día}$$

Cantidad de población que se beneficiaría si no existieran las pérdidas

$$Población \text{ beneficiada} = \frac{377.568.000l/\text{día}}{129L/\text{hab} \cdot \text{día}} = 2.926.883,721 \text{ hab}$$

Debido a las pérdidas en la red, se demuestra la cantidad de habitantes que se podría cubrir.

4.6 Comportamiento Hidrológico en Río La Playa ubicado en la cuenca del Orinoco (figura 1)

Las necesidades por suplir la demanda del agua actual, se reflejan en la búsqueda de alternativas, donde una de éstas, es en la construcción de un embalse dentro de las tierras protegidas por el PNN Chingaza. El proyecto se denomina como Chingaza fase II, debida la información, el embalse se efectuaría sobre el río La Playa, el cual mediante el correspondiente seguimiento de los caudales medios anuales (Tabla 7), rinden un caudal de $3,68m^3/s$, desembocando sus aguas en el Río Guatiquía.

Su estrategia se basa en hacer las captaciones en esta zona, pues al encontrarse dentro de la zona del sistema PNN no tendrá afectación externa ni que luchar por compra de terrenos.

Todo lo relacionado a la licencia ambiental de los megaproyectos, es competencia del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante el ANLA (Agencia Nacional de Licencias Ambientales), entidad que se encargará de otorgar el permiso o no, pero una vez se pueda adquirir se procedería la construcción inmediata, pues al 2032 debe estar ya establecida la fuente de abastecimiento alterna.

Los caudales presentes en la tabla 7, corresponden al seguimiento efectuado en un periodo de 19 años de comportamiento hidrológico que presenta el río La Playa, dentro de éstos se determina el tiempo que tardaría el embalse en llenar el vaso,- “abarcando una totalidad de 917 hectáreas” (EAAB - ESP, 2015)

Tabla 7 Caudales río La Playa

Comportamiento hidrológico para un periodo de 19 años.

<u>Año</u>	<u>M³/año</u>	<u>Hm³/año</u>	<u>Media Hm³/año</u>
1996	117624,96	0,12	0,12
1997	26.524.338	26,52	2,65

1998	57.771.274	57,77	5,78
1999	64.967.184	64,97	6,50
2000	57.844.714	57,84	5,26
2001	83.252.966	83,25	6,94
2002	67.584.499	67,58	6,14
2003	91.867.306	91,87	7,66
2004	87.938.870	87,94	7,33
2005	131.742.893	131,74	10,98
2006	142.386.595	142,39	11,87
2007	112.699.296	112,70	9,39
2008	104.406.278	104,41	8,70
2009	102.701.261	102,70	8,56
2010	109.659.830	109,66	9,14
2011	203.776.560	203,78	16,98
2012	196.500.038	196,50	16,38
2013	127.671.120	127,67	12,77

Nota. Información tomada de la base de datos de la entidad que hace respectivo seguimiento a los caudales y precipitaciones del país IDEAM, donde dichos reportes de datos son suministrados por el PNN Chingaza para efectuar este comportamiento hidrológico.

En la figura 5, se puede apreciar el comportamiento hidrológico del Río la Playa, para un periodo de 19 años.

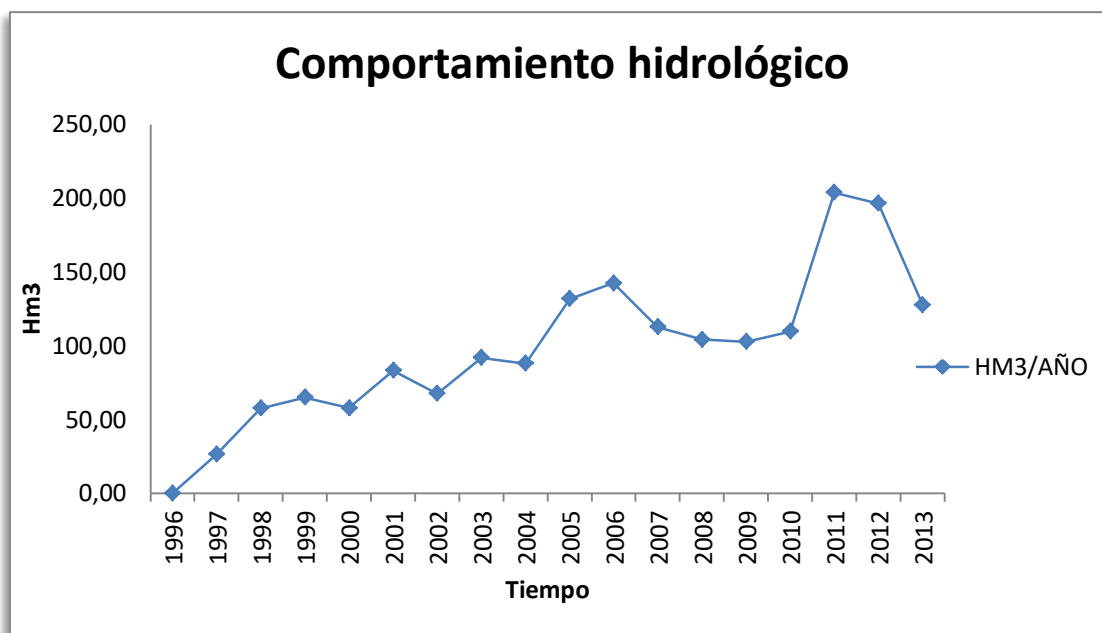


Figura 5. Comportamiento Hidrológico

Con los caudales evaluados se puede estimar el tiempo en el que el embalse haría su llenado total y tendríamos:

$$Q = V/T$$

Dónde:

Q: Caudal

V: Volumen

T: Tiempo

$$T = \frac{Qr}{Qa} = \frac{135hm^3}{127,67hm^3/año} = 1,057años$$

Dónde:

T: Tiempo que tarda el embalse en alcanzar la capacidad requerida

Qr: Caudal Requerido en embalse

Qa: Caudal de aportación anual del Río La Playa.

5. DISCUSIÓN

Dentro de los estudios organizados e informaciones actualizadas de los consumos que NO se reportan, se demostrará que con mejora de las redes de distribución como alternativa, no existiría la necesidad de crear un segundo embalse sobre el terreno de la zona protegida por PNN Chingaza.

5.1 Caudales utilizados y diferenciados sin reportes

Debido a que las cifras del volumen tratado y distribuido por el acueducto de Bogotá en todos los sistemas de tratamiento que lo componen ascienden a $23,7 \text{ m}^3/\text{s}$, se determina que los consumos del sector industrial y las pérdidas en la red, están por encima de los reportados por esta entidad.

Procesando la información obtenida los consumos modificados o pérdidas serían iguales a:

$$V \text{ pérdida} = \text{caudal de salida en la PTAP} - \text{consumo poblacional}$$

$$V \text{ de pérdida} = \frac{23,7 \text{ m}^3}{\text{s}} - \frac{12,52 \text{ m}^3}{\text{s}} = 11,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\% \text{consumo poblacional} = \frac{12,52 \text{ m}^3}{\text{s}} * \frac{100\%}{23,7 \text{ m}^3} = \frac{52,83\%}{\text{s}}$$

$$\% \text{pérdida en la red} = \frac{11,18 \text{ m}^3}{\text{s}} * \frac{100\%}{23,7 \text{ m}^3} = \frac{47,17\%}{\text{s}}$$

5.2 Cubrimiento poblacional con el manejo de los $23.7 \text{ m}^3/\text{s}$

En relación con lo implementado para cubrir la demanda actual por las fugas calculadas en el 47,17% y la demanda no reportada por el acueducto alcanzando los $23,7 \text{ m}^3/\text{s}$, se afirma que con un mejoramiento en las redes la población estará lejos de llegar a una emergencia por falta del recurso hídrico; dentro del cual se analizará la cobertura de habitantes que se estaría dejando de suministrar por pérdidas actuales.

La relación del consumo presente en fugas para suministro de agua potable a los habitantes quedaría:

$$V \text{ pérdidas en } \frac{l}{s} = \frac{11,18 \text{ m}^3}{\text{s}} * \frac{1000l}{1 \text{ m}^3} = 11.180l/\text{s}$$

$$V \text{ pérdidas } \frac{l}{h} = \frac{11.180l}{\text{s}} * \frac{3.600\text{s}}{1h} = 40.248.000l/h$$

$$V \text{ pérdidas } \frac{l}{\text{día}} = 40.248.000 \frac{l}{h} * \frac{24h}{1\text{día}} = 965.952.200l/\text{día}$$

Población que se abastece con las pérdidas de la red:

$$Población \text{ que se abastecería} = \frac{965.952.000l/\text{día}}{129L/\text{hab} \cdot \text{día}} = 7.488.000 \text{ hab}$$

$$\begin{aligned} \%hab, \text{ que se suministraría con las pérdidas} &= 7.488.000hab * \frac{100\%}{8.384.952hab} \\ &= \frac{89,3\%}{s} \end{aligned}$$

Dadas las pérdidas a gran escala y determinando que el cambio de la red, es una solución factible para evitar la alteración de la construcción de un nuevo embalse en el PNN Chingaza; se afirma que con las pérdidas por fugas se alcanzaría a suministrar aproximadamente la cantidad de la población actual.

Se demuestra en la figura 6, con los datos no reportados por el acueducto, que los caudales sobre pasan las “concesiones de caudal para consumo CCC, siendo las permitidas con un máximo de 20,04 m³/s”,- (ORARBO, 2019).

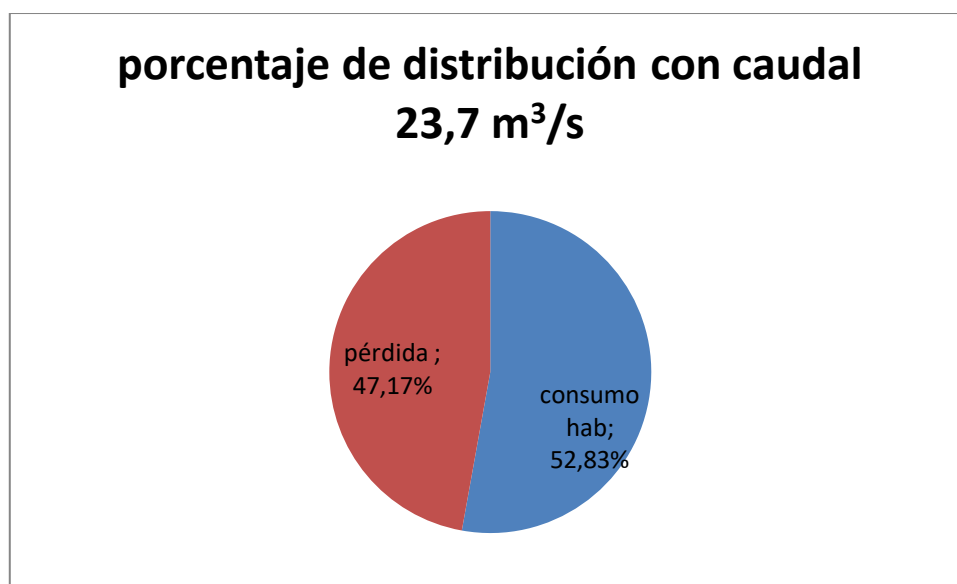


Fig. 6 Comportamiento del sistema de abastecimiento teniendo en cuenta las salidas de las PTAP, con el caudal NO reportado de los 23,7 m³/s.

6. CONCLUSIONES

- Los datos de captación de aguas reportados por la empresa de suministro de agua a Bogotá ($16,89\text{m}^3/\text{s}$) y los analizados en éste trabajo, ($23,7\text{ m}^3/\text{s}$), difieren bastante, lo que podría deberse a dos hechos: las pérdidas en las redes de conducciones sobrepasan el 25% o se producen venta de agua por bloques al sector industrial.
- Una mejora continua en las redes de distribución, prolongaría la capacidad de abastecimiento.
- Los datos del crecimiento poblacional actual es un dato aproximado, puesto que en el año 2005 fue el último censo efectuado por el país.
- Analizando los consumos de la población, se aprecia que estos representan algo más del 50% del total, por lo que se plantea la siguiente cuestión: ¿en qué se utiliza y cuál es el manejo que se está dando al faltante? Si se utilizara dicha cantidad no se tendrían que efectuar ningún tipo de proyecto alternativo
- Debido a que no existe un documento actualizado de los habitantes a los que se brinda el servicio de agua potable, éste oscila las cantidades de la demanda de manera circunstancial y exponencial.
- Debido a que no existe un documento actualizado de los habitantes a los que se brinda el servicio de agua potable, las incertidumbres para realizar predicciones a futuro son muy altas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Colombia, Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio. (03 de 07 de 2014). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Recuperado el 13 de 05 de 2019, de Título B:
[http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO%200714.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO%20B%200714.pdf)
- Cuéllar Jiménez, G. (s.f.). *BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES*.
 Recuperado el 30 de 05 de 2019, de Acueducto Nuevo de Bogotá. Embalse de "La Regadera": <http://www.cervantesvirtual.com/obra/acueducto-nuevo-de-bogota-embalse-de-la-regadera-foto-3-875004/>
- DANE. (11 de 05 de 2011). *ESTIMACIONES Y PROYECCIONES DE POBLACIÓN*.
 Recuperado el 2019 de 05 de 28, de Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020:
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- EAAB - ESP. (2015). *PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO*. Bogotá.
- Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá. (11 de 05 de 2019). *Tarifas servicios de acueducto y alcantarillado*. Recuperado el 11 de 05 de 2019, de https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB!/ut/p/z1/tVNbT8IwGP0tPOxR-rEb4FtRMySCCSqwvpiutKO6raMrQ_311lSiCZcYpC-9fOc7PTn5DiJohkhBa5lSI1VBM3uPSfjY7V7ilgvuKOp3PcCTsXuN7y8ARiGaIIJIyeQcxeD6NEwAfl8JVwhKA0apYEnSCjqsTVsfSFaY0ixQzCIN6tCBirIVn6-YUQ7QiutaMqmq73PFWa
- fondo acción, f. y. (2017). *ARTÍCULO 111 LEY 99 DE 1993*. Recuperado el 4 de 05 de 2019, de <http://mercadosambientalescolombia.com/wp-content/uploads/2017/05/Cartilla-Art%C3%ADculo-111.pdf>
- Gallini, S. L. (2014). "Las corrientes de la ciudad: Una historia del agua en la Bogotá del siglo XX.". Recuperado el 30 de 05 de 2019, de Environment & Society Portal, Virtual Exhibitions 2014, no. 3. Rachel Carson Center for Environment and Society: <http://www.environmentandsociety.org/exhibitions/agua-en-la-bogota/el-abastecimiento-y-consumo-de-agua>
- Mónica, R. R. (02 de 07 de 2018). *¿DE DONDE SALE EL AGUA DE BOGOTÁ?*
 Recuperado el 23 de 03 de 2019, de EL ESPECTADOR:

<https://www.elespectador.com/noticias/bogota/de-donde-sale-el-agua-de-bogota-articulo-797833>

ORARBO. (2019). *Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá*. Recuperado el 30 de 05 de 2019, de <http://orarbo.gov.co/>

ORGANIZACIÓN COLPARQUES. (2018). *EMBALSE DEL SISGA*. Recuperado el 30 de 05 de 2019, de Características generales: <http://www.colparques.net/SISGA>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (21 de 03 de 2019). *Parque Nacional Natural Chingaza*. Recuperado el 23 de Marzo de 2019, de Parques Nacionales Naturales de Colombia: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/region-amazonia-y-orinoquia/parque-nacional-natural-chingaza/>

Population.City. (28 de 04 de 2019). *Colombia*. Recuperado el 28 de 04 de 2019, de Población: <http://poblacion.population.city/colombia/#1>

Resolución 2320 de 2009 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (27 de 11 de 2009). *RESOLUCION 2320 DE 2009*. Recuperado el 30 de 05 de 2019, de por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=38487>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá . (26 de 02 de 2015). *Decreto 1076 de 2015*. Recuperado el 28 de 04 de 2019, de CAPÍTULO 2 USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA:

http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/Decreto%201076%20de%202015.pdf

Uribe, E. O.-R. (01 de 2000). *Recursos Hídricos, Agua Potable y Saneamiento*.

Recuperado el 25 de 05 de 2019, de II. Sector: Agua Potable y Saneamiento:

<https://www.cepal.org/drni/proyectos/samtac/inco00200.pdf>

Wendi, G. L.-M. (2016). *RECOPILACIÓN DOCUMENTAL DEL ESTADO ACTUAL Y USOS DEL AGUA*. Recuperado el 30 de 05 de 2019, de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4179/1/Tesis%20Embalse%20de%20Neusa..pdf>